

博士論文審査報告書

論文題目

循環器系を対象とした生体信号の計測に関する研究

A Study on Vital-sign Measurements for
The Circulatory System

申請者

氏名

武田 朴
Sunao Takeda

専攻・研究指導
(課程内のみ)

2003 年 10 月

人が生きていることの証であるバイタルサインの中でも心電図、血流量および血圧など循環器系の各種のパラメータを計測することは極めて重要である。本論文は筆者が長年開発を行ってきた循環器系パラメータの計測機器に関し、誤差などの原因を考察した結果、臨床現場における悪条件でも使用し得る機器として開発したものを総括的にまとめたものであり、6章から構成されている。以下に各章ごとの概要と評価を行う。

第1章「序論」においては、患者のバイタルサインをモニタすることの重要性について述べている。

第2章「電磁血流量計」においては、その原理および誤差について考察し、実用的な装置を開発している。電磁血流量計は血管の外部から血流と直角に磁場を印加する。その結果、ローレンツ力により正負のイオンが左右に分離して流れ、血管壁の外部に電極を設けることにより、血流の速度に比例した電位差が得られる。しかし、血管壁・体液などにより生じる計測時の誤差、血液が2次コイルとして働くために生じるトランスフォーマ効果による誤差が入る。著者は測定誤差を直接法と比較し、電磁血流量計の値が直接法の80%であることを明らかにしている。次に、トランスフォーマ効果がゼロレベルに変化を与えることから励磁のオン・オフ時の成分を測定し、これらが相殺するような装置を考案した。その結果、ゼロレベルの安定な電磁血流量計を開発している。

適用例としては、脳への動脈が分岐する部位の血流量計測を試みている。この部位では動脈瘤が生じ易く、一方の動脈の血流を遮断して動脈瘤の破裂による内出血を防止する方法があり、このことで脳への血流が確保できるか否かを判断する必要がある。筆者はこのために脳血流を計測するための電磁プローブを開発し、術中の診断に役立っている。

また、循環動態を知る上で左心室の機能を計測することは重要であるが、右心室の機能あるいは肺循環が左心室の機能に与える影響は大きい。このためには、三尖弁を通過する血流量は重要なパラメータである。著者はシリコン樹脂を用いて三尖弁の弁輪形状を計測し得るプローブを開発している。このプローブを用いることにより、三尖弁血流量の計測に成功し、右心系の機能研究に貢献している。

以上の成果により、電磁血流量計は心臓内および脳内の血流量の定量的な測定装置として広く認められるようになった。なお、これらの成果に対して1981年度の日本エム・イー学会から新技術開発賞を受賞している。

第3章「血圧計測」においては、血圧計測の問題点について検討し、

血管内用の直接法とカフを用いる間接法とを扱っている。血圧計測については決定的な計測法は無いが、極めて重要な血圧計の問題点について検討を行っている。本研究においては、直接法および間接法に対して比較検討を加えて実用上の改善を行っている。前者に関してはセンサの感度設計および温度補償について提案した方式のものを試作した。これは医療環境において十分実用性を備えたもので、JIS規格の制定においても取り入れられている。

他方、間接法のものについては、カフ圧と血圧との関係で生じるカフ圧の変動の関係から血圧を推定するオッシレーション法を利用して、約7,000例の波形を解析し、従来では困難であった重症患者または未熟児などの血圧測定をも可能な信号認識技術を確立している。

第4章「光学的血液成分の計測」においては、光学的に血液の酸素飽和度を計測するパルスオキシメータの精度の向上を行っている。心拍動にともなう末梢における動脈血液量の変動を分光測定するもので、無侵襲に連続して血液成分を計測出来る実用的な装置である。著者は色素（インドシアニンググリーン）を用いて血管内の色素濃度の計測において、精度向上のための検討を行っている。その結果、血球による散乱を考慮して吸光係数を決めると、誤差2%にまで精度が向上することを明らかにしている。さらに、色素希釈曲線から心拍出量を、また減衰曲線から循環血液量を計測して実用性を確認している。

第5章「自律神経系の計測」においては、ストレス下における脈拍数および血圧の極端な低下について計測している。歯科など苦痛をとまなう診療においては、不快症状または偶発症と呼ばれる血圧の低下による脳貧血様の発作を起こすことがある。このような状態を検出するには体動による“ゆらぎ”の多い波形を含む心電図の中から瞬時心拍数を計測する装置が必要である。本研究においてはこの発作を予測するために瞬時心拍数と血圧を計測し、その結果を数百例の歯科治療中の患者に適用して心拍数および血圧の変動を記録している。その結果から、アラームの設定値を決定している。

さらに、苦痛などによる体動、未熟児の体動、術後ショック患者の微弱な脈波から瞬時に近い脈拍数を計測するアルゴリズムを開発している。このモニタ装置は、脈拍および血圧変動に対する十分な応答速度を示しており、自律神経系の変動を計測している。したがって、歯科以外の領域における自律神経系の臨床および研究にも用いることができる。その他、重症患者のモニタにも応用することが可能であり今後の普及が期待される。この装置は従来では計測出来なかったバイタルサインをモニタし得る点で臨床上極めて大きな価値がある。

第6章「総括」においては、本研究のまとめを行っており、今後の研究開発の方向性についても示している。

以上をまとめると、本研究は電磁血流量計の血管壁および体液の影響による誤差、および血液が2次回路を構成することによるトランスフォーマ効果にともなう誤差を明らかにし、電磁石の励磁の方式を提案してゼロレベルの安定した実用的な装置を開発し、さらに、脳血流あるいは三尖弁の流量を計測するためのプローブを開発している。また、血圧計測についてはカテーテル法のセンサに関して感度設計、温度補償に関して検討のうえ、JIS規格に採用された実用的な特性を示す設計手法を開発しているほかに、カフ型のオッシレーション法の脈波認識技術を改良して重症患者の血圧計測も可能にしている。その他、光学的手法による血液成分の計測に関して、心拍出量および循環血液量の計測精度を高めると同時に、体動を含む悪条件の心電図から瞬時心拍数を計測して発作を予測するモニタの開発を行っている。このように、患者にとって極めて重要な基礎情報を現場においてモニタし得る実用的な機器を開発している。これらの基礎技術を実用化に結びつけた成果は医用計測分野のみならず、医療工学全般の発展に多大の寄与をした。よって、博士(工学)の論文として価値あるものと認める。

2003年9月

審査員

(主査) 早稲田大学教授 工学博士(早稲田大学) 内山明彦

早稲田大学教授 工学博士(早稲田大学) 梅津光生
医学博士(東京女子医科大学)

早稲田大学教授 工学博士(早稲田大学) 宗田孝之

早稲田大学特任教授 工学博士(東京大学) 戸川達男